

ВЛИЯНИЕ КИСЛОРОДА НА ДИСЛОКАЦИОННЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ГПУ-СПЛАВОВ ЦИРКОНИЯ

Гирсова С.Л.

к.ф.-м.н, в.н.с. Полетика Тамара Михайловна

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск,
girs@ispms.tsc.ru.

Для эффективного управления деформационным поведением циркониевых сплавов, являющихся конструкционными материалами для активной зоны атомных реакторов, необходима информация об эволюции их дефектной структуры. Однако не ясным остается вопрос об условиях реализации конкретных механизмов деформации и их роли в формировании текстуры и механических свойств в процессе холодной обработки давлением.

В настоящей работе представлены результаты исследования роли кислорода в формировании деформационного поведения сплава циркалой-2. Известно, что кислород обладает высокой растворимостью в α -Zr (6.75%) и в настоящее время используется для дополнительного легирования с целью повышения эксплуатационных характеристик сплавов циркония. [1]. При этом не ясным остается вопрос о характере влияния кислорода на процессы, происходящие при пластической деформации, а значит и его допустимом содержании в твердом растворе, не снижающем технологическую пластичность материала.

Исследуемый сплав (Zr – 1.5 % Sn – 0.18 % Fe – 0.09 % Cr – 0.07 % Ni, 0,14 % O) находился в полностью рекристаллизованном состоянии. Внутри α -Zr зерен, средним размером 12 мкм, и по их границам располагались интерметаллидные частицы сложного состава средним размером 0,15 мкм. Образцы с рабочей частью 43×5×2 мм подвергались растяжению на испытательной машине “Instron1185” при комнатной температуре с постоянной скоростью движения подвижного захвата $\dot{\epsilon} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$.

Ранее [2] было показано, что, несмотря на разное структурно-фазовое состояние в сплавах Zr-Nb (Э110, Э635), обладающих преимущественно дисперсным типом упрочнения, можно выделить общую центральную последовательность дислокационных превращений, происходящих при пластической деформации: хаотическое распределение дислокаций → незарезориентированная сетчатая (ячеисто-сетчатая) → резориентированная сетчатая (ячеисто-сетчатая) → полосовая субструктура → фрагментированная структура. Иная цепочка дислокационных превращений наблюдается в сплаве циркалой-2.

Особенностью микроструктуры в сплаве циркалой-2 является достаточно равномерное распределение дислокаций по образцу (рис.1а), что является результатом повышения вероятности поперечного скольжения и образования большого числа дислокационных барьеров. При степени деформации 7% появляется тенденция к локализации дислокационного скольжения в плоскостях легкого скольжения $\{10\bar{1}0\}$, образованию дипольных скоплений

(рис. 1б), которые обеспечивают упрочнение материала. В местах существования порогов краевых дислокаций при аннигиляции дислокационных пар остаются мелкие дислокационные петли (рис. 1б указано стрелкой), которые при 12% уже становятся распространенным элементом субструктуры.

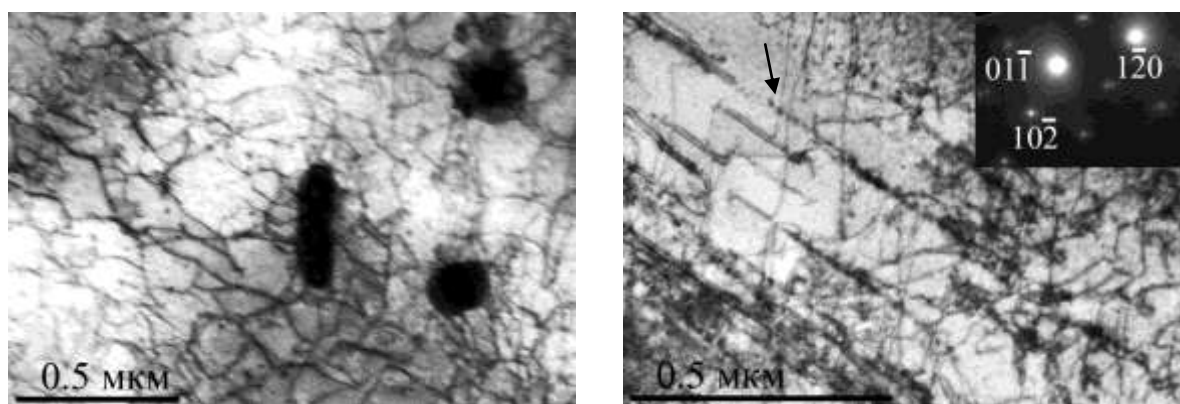


Рис. 1. Микроструктура сплава циркалой – 2: а - сетчатая, $\varepsilon \approx 5,5\%$; б – дислокационные диполи, $\varepsilon \approx 7,5\%$

Основным фактором, определяющим характер формирующейся дислокационной структуры в исследуемом сплаве, является влияние кислорода. Действительно, кислород существенно уменьшает эффективную энергию дефекта упаковки, изменяет соотношение осей c/a , влияя на активность систем скольжения. Важная роль в упрочнении отводится закреплению дислокаций облаками Коттрелла, закреплению узлов дислокационной сетки атомами кислорода, торможению дислокаций парами О-О и О-S (S – атом примеси замещения), образование которых становится возможным при локальном содержании кислорода более 3ат% [3]. В результате в исследуемом материале субграницы не формируются и наблюдается накопление непрерывных разориентировок кристаллической решетки, а релаксация внутренних напряжений происходит путем коллективной перестройки дислокаций с образованием полосы локализации деформации (ПЛД) вдоль границы зерна (рис. 2). Толщина полос не превышает 0.3 мкм, а величина переориентации кристаллической решетки относительно матрицы в зависимости от степени деформации возрастает от $2 \div 3^\circ$ до десятков градусов. Процесс их формирования активизируется после общей деформации $\varepsilon = 5,5\%$, когда объемная доля разориентированной сетчатой субструктуры и скалярная плотность дислокаций достигают максимума. При дальнейшем деформировании растет количество ПЛД и изменяется характер их внутренней структуры, в то время как в окружающем объеме формирования полосовых и фрагментированных структур не происходит вплоть до образования шейки.

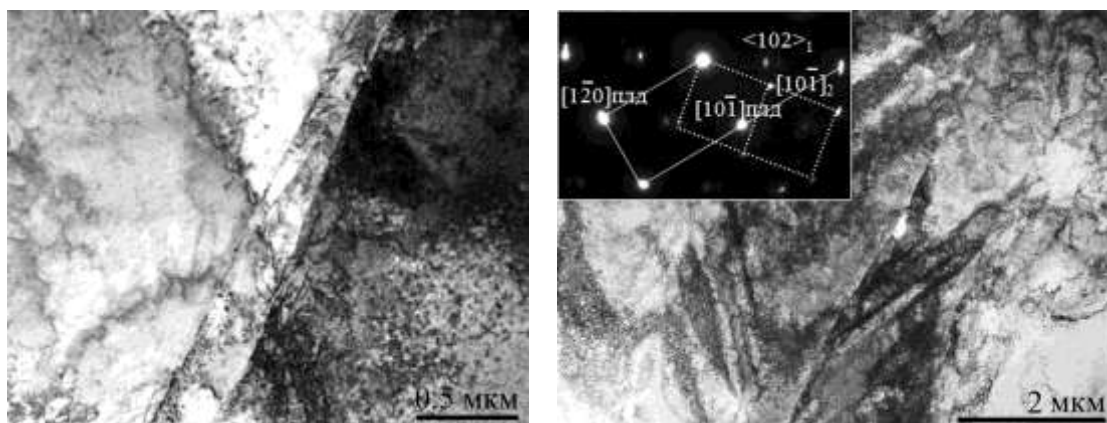


Рис.2. Полосы локализации деформации: а - $\varepsilon \approx 5,5\%$; б – шейка.

Релаксация локальных напряжений при образовании ПЛД, а также сдерживание процесса образования субграниц, являющихся источниками дальнodelствующиx напряжений обуславливают низкий уровень внутренних напряжений (остаточные напряжения не превышают 150 МПа).

Таким образом, твердорастворное упрочнение кислородом обуславливает однородное распределение дислокаций, затрудняет их сепарацию с образованием субграниц, способствует эффективной релаксации напряжений около границ зерен путем образования полос локализации деформации. Именно эффективная релаксация напряжений и низкая подвижность дислокаций, определяющая высокую сдвиговую устойчивость на микроуровне, обуславливают хорошие механические свойства исследуемого сплава.

Список литературы

1. Займовский А.С., Никулина А.В., Решетников Н.Г., Циркониевые сплавы в ядерной энергетике. - Москва: Энергоатомиздат, 1994.
2. Полетика Т.М., Гирсова С.Л., Попова Н.А., Конева Н.А., Козлов Э.В. // Деформация и разрушение материалов. 2006. № 10. С. 12-15.
3. Черняева Т.П., Стукалов А.И., Грицина В.М. // Вопросы атомной науки и техники. 2000. № 2. С. 71-85.